

「地球変動のメカニズム」

平成 10 年度採択研究代表者

吉崎 正憲

(気象研究所 室長)

「メソ対流系の構造と発生・発達メカニズムの解明」

1. 研究実施の概要

日本列島にしばしば災害をもたらす顕著な降水現象として、梅雨前線、冬の日本海上の帯状雲や小低気圧、夏の雷雨、台風などがある。これらはすべて階層構造をしていて、その中でメソ対流系は特に重要な役割を果たしている。メソ対流系とは、水平スケール 100km のオーダーで対流性領域と層状性領域を持つシステムで、自己増殖や組織化によって長時間持続して線状や塊状などさまざまな形態をとる。

「地球変動のメカニズム」において、大気中の水やエネルギーの循環過程は解明すべき問題である。メソ対流系はそうした循環を担う重要なメカニズムの一つであるが、その実態や組織化のメカニズムについて未解明な部分が多く、その解明は気候変動のメカニズム解明のためには不可欠である。

本研究では、メソ対流系およびその階層構造を解明する事を目的として、九州地方の梅雨、日本海の冬期の帯状雲・小低気圧や関東地方の雷雨について、野外観測・解析・数値実験を有機的に結合した総合的研究を行う。そのために、(1)メソ対流系を観測するのに有効な観測測器の充実とメソ観測システムの構築、(2)ドップラーレーダー、高層ゾンデ、航空機などによる野外観測の実施、(3)野外観測データのデータベース化、(4)野外観測で観測される事例の解析、(5)数値モデルによる再現実験、(6)ほかの地域のメソ対流系との比較および全体の取りまとめ、を行う。特に、(1)では、境界層レーダー、気温分布測定マイクロ波放射計、地上観測装置を購入して、メソ観測体制の充実を図ると共に地上からのメソ観測システムの構築をめざす。また、(2)では、機動的な航空機とドップラーレーダー・高層ゾンデ・気象観測船などの観測網を組み合わせ、今までになかった規模の総合的な観測を行う。こうした観測や解析から、日本域のメソ対流系の構造や発生・発達の仕方、およびメソ対流系の形態とその周りの環境場(中間規模擾乱などの場)との関係を明らかにする。さらに、(5)では数値モデルを用いて観測される事例の再現実験などを行い、メソ対流系の自己増殖や組織化のメカニズムや階層構造間の相互作用などを明らかにする。

平成 10 年度には、境界層レーダー、気温分布測定マイクロ波放射計、地上観測装置を購入して、野外観測の準備を行った。平成 11 年度には 1999 年 6-7 月に九州南西部で「東シナ海・九州梅雨特別観測(X-BAIU-99)」を行い、梅雨前線や低気圧に伴う降水系を観測した。またこれに関

するワークショップ「九州における梅雨特別観測に関するワークショップ」を1999年11月27日に福岡で開催した。平成12年度には、2001年1月に日本海側で「冬季日本海メソ対流系観測－2001(WMO-01)」を行い、帯状雲や小低気圧などに伴う降雪系を観測した。平成13年度には、2001年6－7月に九州南西部で「東シナ海・九州梅雨特別観測(X-BAIU-01)」を、また2002年1月に日本海側で「冬季日本海メソ対流系観測－2002(WMO-02)」を行った。また中間的取りまとめとして、2001年8月29－31日に札幌で夏の研究集会「豪雨・豪雪をもたらす気象擾乱」を開催した。一連の野外観測によって線状や渦状などさまざまな形態のメソ対流系が観測され、また境界層レーダー、航空機、非静力学モデルなど新しい手法を駆使した総合的な研究により、メソ対流系の構造や発生・発達メカニズムが明らかになった。平成14年度には、引き続き多くのメソ対流系を観測するために「東シナ海・九州梅雨特別観測(X-BAIU-02)」と冬季日本海メソ対流系観測－2003(WMO-03)」の野外観測を実施する。またこれまでの成果を世界にアピールするために2002年10月29－31日に東京で国際会議”International Conference on Mesoscale Convective Systems and Heavy Rainfall/Snowfall in East Asia”を開催する。最終年度の平成15年度には全体的な取りまとめを予定している。

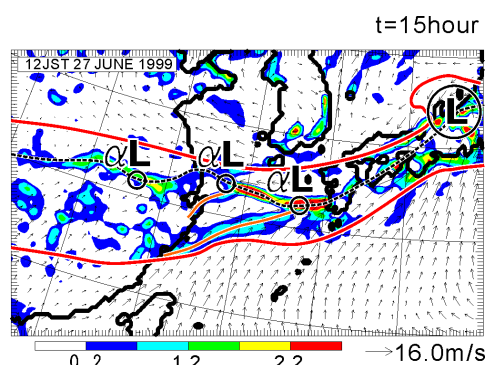
今後の見通しとして、本研究の遂行により、大気中の水やエネルギーの循環過程の一つであるメソ対流系を深く理解することができる。また得られる知見は、大気大循環モデルにおけるメソ対流系のパラメーター化の改善などに寄与することができる。さらに、メソスケール擾乱を監視するメソ観測システムや数値モデルで予測するメソ予測システムなどの構築に寄与することができる。

2. 研究実施内容（平成13年度）

平成13年度には、2001年6－7月に九州南西部で「東シナ海・九州梅雨特別観測(X-BAIU-01)」、また2002年1月に日本海側で「冬季日本海メソ対流系観測－2002(WMO-02)」の野外観測を行った。また2001年8月29－31日に札幌で夏の研究集会「豪雨・豪雪をもたらす気象擾乱」を開催した。

今年度の活動内容は、一つ目として夏の研究集会的なまとめとして作成した戦略的基礎研究メンバー報告書にまとめられている。また二つ目として、2001年12月18日に開催された第2回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」の要旨集にもコンパクトにまとめられている。詳しくはそちらを参照していただきたい。ここでは領域シンポジウム要旨集から2～3の重要なトピックとX-BAIU-01からは一つのトピックを取り上げて簡単に報告する。

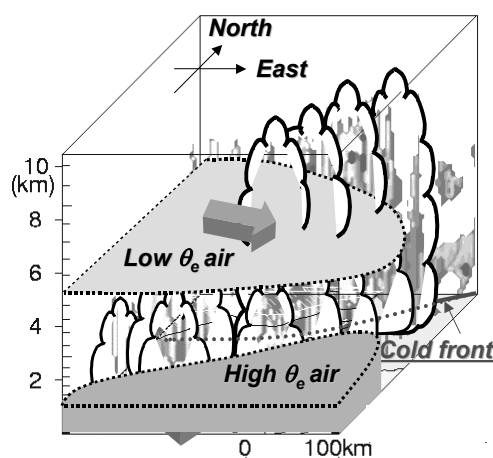
これまで行った野外観測のうち、X-BAIU-99とWMO-01に関する研究が進んだ。まず梅雨期の東シナ海・九州における野外観測(X-BAIU-99)では、梅雨前線には温度で特徴づけられる前線と水蒸気で特徴づけられる前線が共存することを明らかにした(第1図)。1999年6月27日の場合では、温度傾



第1図 1999年6月27日における梅雨前線帯の温度前線と水蒸気前線(茂木).

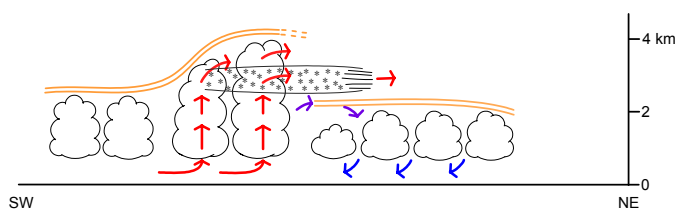
度が大きい北側の前線のほかに、その南側の中国大陸東岸に沿った弱い恒常的な水蒸気収束域で東西に延びる梅雨前線上のメソ α スケール低気圧(α L)から南西に延びる水蒸気前線が形成され、 α Lが東シナ海上を東進するにつれて東西に傾いていった。二つの前線は九州に近づく頃に併合した。

次に6月29日の場合は、東シナ海上を東進してきた α Lの寒冷前線によって、北九州地方および中国地方で豪雨が発生した。特に福岡市付近で発生した豪雨は最大1時間降水量が95.5mmに達し、多大な災害をもたらした。この事例に関して、気象庁ルーチン領域モデル(水平格子間隔約20km)では寒冷前線は再現されたものの降水域はぼやけていて弱い降水強度しか予想されなかったが、水平格子間隔2kmの非静力学モデル(NHM)では観測されたものとよく一致する雨量分布や最大1時間降水量が再現された。このことから、積乱雲の物理過程を取り込んだ高水平分解能のNHMはメソ対流系の再現に非常に有効であることが確かめられた。NHMで再現された寒冷前線に伴う降雨域の内部を詳しく調べると、前線上にメソ対流系が4~5個存在していて、その中を対流セルが繰り返し発生していた。したがって寒冷前線の中のメソ対流系はマルチセル型であった。さらに寒冷前線に沿って対流活動が持続したメカニズムを調べると、前線の中層では北西から低相当温位気塊が流入していたのに対して、下層では南側からの強い南西風による高相当温位気塊の流れ込みがあって、対流不安定度な場が強化・維持されていた(第2図)。



第2図 1999年6月29日の寒冷前線における対流セルの発達と低・高相当温位の気塊の流れ込み(加藤)。

冬季日本海における野外観測(WMO-01)では、寒気吹き出し時における帯状雲(JPCZ)、筋状雲(Tモード、Lモード)、渦列状擾乱、停滞性降雪バンド、または総観スケールの低気圧の通過に伴う小低気圧について、それらの構造と発生・維持機構を詳しく調べた。ここでは航空機観測によって観測されたJPCZについてだけ報告する。第3図はJPCZの南西から北東にかけての鉛直断面における概念図である。JPCZでは背の高い積乱雲が発達し、その周りで背の低い積雲があった。JPCZの北側のTモードに関してその構造や成因がよくわかっていなかったが、この観測からJPCZで発達した背の高い積乱雲の上層からその高度付近の南西風で吹き出す層状雲であることが明らかになった。



第3図 JPCZに直交する方向の概念的な降雪雲と流れの鉛直断面図(村上ほか)。

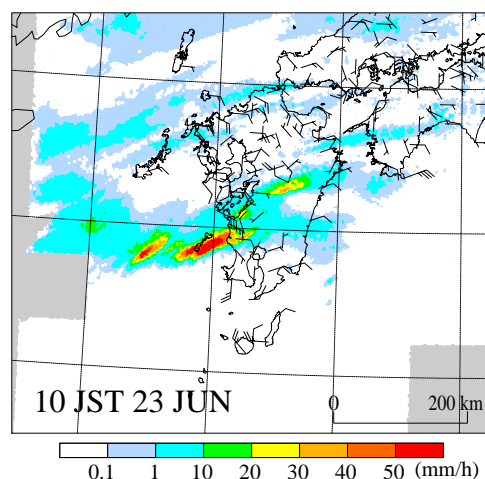
2001年6-7月に行われた X-BAIU-01 でも観測域でいくつかのメソ対流系が捉えられた。この観測期間中観測支援のために、九州を含む750km四方の領域を対象に5km水平分解能のNHM (5km-NHM)を1日2回実行した。NHMは多くの場合降水をもっともらしく予想したが、2-3のケースでは予想に失敗した。ここでは、失敗した6月23日の事例について、気象衛星(GMS-5)の赤外画像やレーダー・アメダス解析雨量など従来のデータに加え、QuikSCAT衛星のマイクロ波放射計データからリトリブした海上風、TRMMによる可降水量、エアロゾンデのデータを用いて、なぜ5km-NHMが予想に失敗したかを調べた。

この事例では、03時以降に鹿児島県西方海上でメソ対流系が突然発生し、急激に発達した。そして、東シナ海上から線状の降雨域が鹿児島県北西部に広がって、23日10時には川内市で1時間あたり50mmを越える豪雨となった(第4図)。

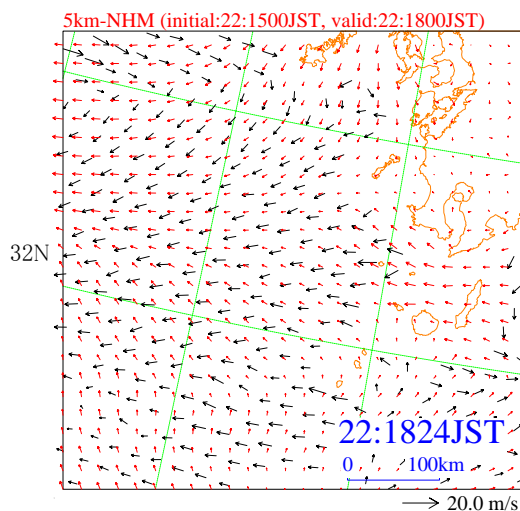
地上や上空の天気図を見ても、降水発生域には顕著な擾乱はなく、上空にも気圧の谷の通過は見られなかった。したがって、この豪雨は高比湿気塊の南方からの流入に伴い、梅雨前線帯の南縁で発生したものと想像される。

第5図は、前日22日18時頃のQuikSCAT衛星の海上風と同時刻の5km-NHMの予想値である。QuikSCAT衛星の海上風をみると鹿児島西方海上に風の収束があり、一方風向は一致しないものの5km-NHMもほぼ同じ位置に収束を予想した。また(時間帯は異なるが)エアロゾンデがこの領域を飛んで下層境界層内の風向・風速・温度・水蒸気を測定したが、高度500mより下層に風の弱い収束を観測した。したがって、この風の収束領域で23日04時頃にメソ対流系が発生したものと考えられる。

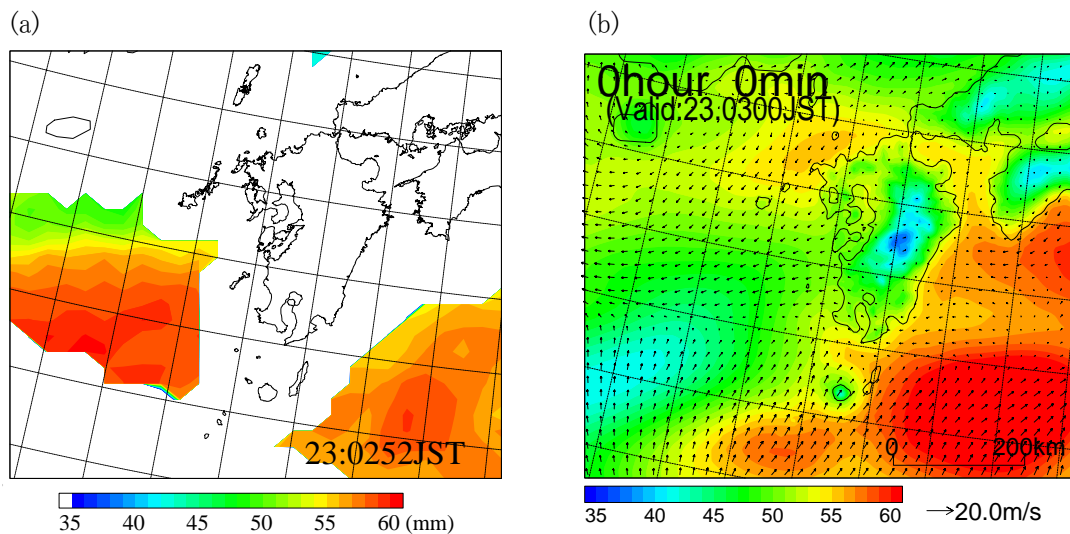
ところが、風の収束があったにもかかわらずNHMはメソ対流系の発生を予想できなかった。その主な原因は、実は不正確な水蒸気分布にあった。6月23日03時のTRMMと5km-NHMの可降水量分布を第6図に示す。九州南西海上の可降水量はTRMMでは60mmを超えていたが、5km-NHMでは50mm以下とかなり小さかった。可降水量の大半が下層にあることから、5km-NHMでは南からの水蒸気供給が実際よりかなり小さくて、このため風の収束があっても対流が発生でき



第4図 2001年6月23日10時のレーダー・アメダス解析雨量。



第5図 6月22日18時頃のQuikSCAT衛星の海上風(黒線)と同時刻の5km-NHMの予想値(赤線)。



第6図 (a)6月23日03時のTRMMと(b)5km-NHMの可降水量分布。

なかったと考えられる。5km-NHM でもしも十分な水蒸気供給が再現されていれば、前日夕刻にあった下層の弱い風の収束場でも高比湿気塊を上空に持ち上げて凝結を引き起こし、豪雨を予想できたものと推測される。

このようにまだ予測は不十分であるが、NHM はいまやメソ対流系の研究に欠かせないものである。豪雨・豪雪の発生を正しく予測するには、データの空白域(梅雨期は東シナ海上)における物理量—特に下層の水蒸気—を正しくNHMに取り込む必要がある。そのためには、TRMMの可降水量などさまざまな観測データを同化してモデルの初期値をよくすることが望まれる。またその検証や観測システムの構築のために、引き続き野外観測を続ける必要がある。

3. 研究実施体制

地上観測グループ

- ① 吉崎正憲(気象研究所予報研究部、室長)
- ② 他グループと協力して、東シナ海・九州梅雨特別観測—2001年(X-BAIU-01)においては梅雨期の気象擾乱とそれに伴う降水系を、冬季日本海メソ対流系観測—2002年(WMO-02)においては日本海上で発生した気象擾乱とそれに伴う降雪系を、高層ゾンデ、ドップラーレーダー、境界層レーダーなどで観測して、その実態を調べた。また、2001年8月29—31日に北大低温科学研究所において夏の研究集会「豪雨・豪雪をもたらす気象擾乱」を開催して、戦略的基礎研究による研究成果の報告を行い、成果の中間的な取りまとめを行った。

航空機観測グループ

- ① 中村健治(名古屋大学地球水循環研究センター、教授)
村上正隆(気象研究所物理気象研究部、室長)

- ② 他グループと協力して、WMO-02 において航空機による雲レーダー、降水粒子測器などによる降雪雲の観測を行った。また、夏の研究集会において観測結果を報告した。

解析・数値モデルグループ

- ① 加藤輝之(気象研究所予報研究部, 主任研究官)
- ② 他グループと協力して、X-BAIU-01 と WMO-02 において、解析および観測事例に関する数値実験を行った。シミュレートされた結果を詳しく調べて、降水(雪)系の構造やその発生・維持機構について調べた。また、夏の研究集会において解析・数値実験の結果を報告した。

4. 研究成果の発表

(1) 論文発表

- Yoshizaki, M., T. Kato, Y. Tanaka, H. Takayama, Y. Shoji, H. Seko, K. Arao, K. Manabe, and members of X-BAIU-98 Observation, 2000: Analytical and numerical study of the 26 June 1998 orographic rainband observed in western Kyushu, Japan. J.Meteor.Soc.Japan, 78,835-856.
- 吉崎正憲・加藤輝之: 2001 年 1 月の日本海観測計画について, メソ気象研究会, 天気, 47, 578-579, 2000.
- 吉崎正憲・加藤輝之・永戸久喜・足立アホロ・村上正隆・林修吾・WMO-01 観測グループ: 冬季日本海メソ対流系観測-2001 (WMO-01) の速報. 日本気象学会, 天気, 48, 33-43.

(2) 特許出願

なし